

JÓZEF SZUBERT, SŁAWOMIR SZUBERT, WOJCIECH WIECZOREK, ALICJA SZYMAŃSKA-PASZCZUK,  
WŁODZIMIERZ ZIÓLKOWSKI, MARIETTA SZUBERT

WYŻSZA SZKOŁA INFORMATYKI I UMIEJĘTNOŚCI W ŁODZI

## **Alternatywna metoda wyznaczania maksymalnego poboru tlenu ( $\text{vO}_2\text{max}$ ) przez organizm człowieka**

### **An alternative method of measuring the human maximal oxygen uptake ( $\text{vO}_2\text{Max}$ )**

**Introduction:** One of the main tasks of the physiology of human exercise is the evaluation of physical efficiency. The maximal oxygen uptake ( $\text{Vo2max}$ ) is the best indicator of physical fitness. It allows to widely predict a healthy organism's response to physical strain. It is also considered useful in clinical research for evaluating patients' ability to exercise, as well as monitoring the effects of their treatment or rehabilitation. Every method of measuring the maximal oxygen uptake has its limits and that is why a new, possibly simple, safe and reliable method of measuring  $\text{Vo2max}$  is constantly sought for.

**Materials and methods:** On the basis of our own and worldwide empirical data, as well as the laws of thermodynamics and fluid mechanics, a new, accurate and safe method of measuring maximal oxygen uptake was developed. The method allows to evaluate  $\text{Vo2max}$  under various submaximal exercise loads.

**Results:** There is no statistically significant difference between the maximal oxygen uptake values measured using the author's method and those acquired using other researchers' methods.

**Conclusion:** The author's method of measuring maximal oxygen uptake ( $\text{Vo2max}$ ) can be a valid alternative to the currently used methods.

## **Wprowadzenie**

Jednym z zadań fizjologii wysiłków fizycznych człowieka jest ocena jego wydolności fizycznej. Może ona służyć określeniu zmian czynnościowych występujących w organizmie człowieka bądź to na skutek treningu, aktywności ruchowej,

bądź choroby (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Ingle, 2008, 2007).

Wydolność fizyczna oznacza zdolność do ciężkich lub długotrwałych wysiłków fizycznych, wykonywanych z udziałem dużych grup mięśniowych, bez szybko narastającego zmęczenia, z możliwie najmniejszym zaburzeniem homeostazy i zachowaniem skutecznej restytucji po zakończeniu wysiłku (Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010).

Najlepszym wskaźnikiem wydolności fizycznej człowieka jest zdolność maksymalnego pobierania tlenu przez jego organizm, inaczej pułap tlenowy ( $Vo_2max$ ), zwany także wydolnością aerobową organizmu. Wskaźnik ten pozwala u ludzi zdrowych na przewidywanie reakcji organizmu na obciążenia wysiłkowe w szerokim zakresie (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010, Åstrand, Saltin, 1961, Ekblom, Hermansen, 1968, Mędraś, 2010). Przydatny jest także w badaniach klinicznych u ludzi chorych do oceny zdolności wykonywania wysiłków (Myers, 2008, Swain, Franklin, 2002, Arena, Myers, Guazzi, 2008, Piepoli, 2009).

$Vo_2max$  ma podstawowe znaczenie w diagnostyce efektów treningu, poziomu adaptacji wysiłkowej, a także pozwala wnioskować o stanie zdrowia. Jest też podstawą wyznaczania celów treningu sportowego czy rekreacyjnego.

Odgrywa ważną rolę w medycynie pracy w ocenie postępów leczenia i rehabilitacji (Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010, Arena, Myers, Guazzi, 2008).

Maksymalne pochłanianie tlenu ( $Vo_2max$ ) przez organizm człowieka może być wykorzystywane jako wskaźnik wydolności fizycznej, ponieważ ilość tlenu, jaką człowiek jest w stanie pobrać w jednostce czasu, decyduje o stopniu pokrycia zapotrzebowania tlenowego podczas wysiłków. Wartość  $Vo_2max$  wyznacza więc dla danej osoby górną granicę obciążeń, przy której może ona osiągnąć równowagę czynnościową, tzn. podczas obciążenia maksymalnego. Także wartość  $Vo_2max$  wykazuje duży związek z wielkością czynników kształtujących zdolność do długotrwałych wysiłków wykonywanych w warunkach równowagi czynnościowej, tzn. podczas wysiłków o obciążeniu submaksymalnym (Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010).

Wartość maksymalnego poboru tlenu najczęściej wyraża się w następujących jednostkach (Górski, 2008; Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999): litr  $O_2$  na minutę ( $l \cdot min^{-1}$ ) lub mililitr  $O_2$  na kilogram masy ciała i minutę ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ). Maksymalny pobór tlenu u ludzi wykazuje duże zróżnicowanie. Typowe wielkości  $Vo_2max$  u osób zdrowych w wieku 20–25 lat wynoszą:  $2100\text{--}2700\text{ ml} \cdot min^{-1}$  ( $35\text{--}45\text{ ml} \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) u kobiet oraz  $3200\text{--}3900\text{ ml} \cdot min^{-1}$  ( $45\text{--}55\text{ ml} \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) u mężczyzn. Najniższe wartości  $Vo_2max$  występują u pacjentów z niewydolnością krążeniowo-oddechową oraz u osób starszych. Najniższa wartość  $Vo_2max$  umożliwiająca pełną niezależność lokomocyjną człowieka wynosi  $15\text{ ml} \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006).

Metody wyznaczania maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_2max$ ) można podzielić na dwie grupy: metody bezpośrednie i metody pośrednie (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010).

Maksymalny pobór tlenu wyznaczony w sposób bezpośredni jest wykonywany z użyciem ergospirometrów, rzadziej z zastosowaniem worków Douglasa (Górski,

2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010). Próby wysiłkowe na cykloergometrze lub na bieżni mechanicznej zawierają procedury o stopniowo wzrastającej intensywności, aż do odmowy, a to zawsze niesie ze sobą zagrożenie zdrowia, a nawet życia (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Franklin, 2000). Największe wartości  $\text{Vo}_2\text{max}$  osiągane są w próbach wysiłkowych o czasie trwania nieprzekraczającym kilkunastu minut (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010). Metody bezpośrednie pomiaru maksymalnego poboru tlenu to testy wysiłkowe o charakterze maksymalnym, które mogą być w zasadzie wykonywane przez sportowców, kontynuowane do odmowy lub przerywane w sytuacji, w której mimo wzrostu obciążenia pracą nie zmienia się wartość pobieranego tlenu (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Wilmore, Castill, 1999). Najczęściej testy maksymalne wykonywane są na bieżni mechanicznej, cykloergometrze rowerowym lub ergometrze wioślarskim, ale dąży się do tego, aby ruch dominujący w teście był ruchem charakterystycznym dla uprawianej dyscypliny sportu (Zatoń, Jastrzębska, 2010, Straburzyńska-Migaj, 2010).

Istnieje kilkanaście metod umożliwiających ocenę maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) w sposób pośredni. Najczęściej stosowane są:

- testy wykorzystujące istnienie liniowej zależności pomiędzy częstością skurczów serca a poborem tlenu podczas wysiłku submaksymalnego (test Åstranda, test Foka) (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Åstrand, Ryhming, 1954, Cink, Thomas, 1981, Legge, Banister, 1986, Fox, 1973, Åstrand, Rohdahl, 1986);
- testy oparte na pomiarze czasu trwania wysiłku na bieżni ruchomej (test Åstranda na bieżni ruchomej, test progresywny Balke'a, test Coopera); wymagają one kontynuowania wysiłku do odmowy, mają więc charakter testów maksymalnych (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Franklin, 2000).

Rzadziej stosowane są:

- metody oparte na wartościach spoczynkowych (test Åstranda i Rodhala, test Jacksona i wsp.) (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Åstrand, Rohdahl, 1986, Jackson i in., 1990);
- terenowe testy wydolności tlenowej organizmu (test Balke'a, test pływacki, test biegowy, fiński test chodu, test Coopera) (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Zatoń, Jastrzębska, 2010, Pyne i in., 2000).

## Material i metody

W oparciu o własne i światowe dane empiryczne oraz prawa wymiany ciepła (Staniszewski, 1980, Hobler, 1979) i mechanikę płynów (Landau, Lifszic, 1958, Bukowski, 1976) oraz zasady modelowania i symulacji komputerowej układów

biologicznych (Szubert, 1981) opracowano model układu regulacji temperatury wraz z elementami układu krążenia i oddychania organizmu człowieka (Szubert, 1980).

Korzystanie z tego modelu pozwoliło między innymi opracować własną, bezpieczną metodę wyznaczania maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_2\max$ ) przez organizm człowieka. Do wyznaczania tej wielkości fizjologicznej niezbędny jest pomiar ilości pobranego tlenu podczas dowolnego wysiłku submaksymalnego, częstości skurczów serca i powierzchni ciała człowieka:

$$Vo_2\max = \frac{Vo_2}{(0,0076923 - 0,0003127A_D)(HR - 70) + 0,040651A_D} \left[ \frac{L}{min} \right],$$

gdzie:

$Vo_2\max$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu,

$Vo_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas dowolnego wysiłku submaksymalnego,

HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_D = 0,20247m^{0,425}H^{0,725}$  [m<sup>2</sup>] (równanie Du Bois) – powierzchnia ciała człowieka,

m [kg] – masa ciała,

H [m] – wzrost.

Ocenę wiarygodności wyników  $Vo_2\max$  otrzymanych za pomocą własnej metody dokonano poprzez porównanie ich z wynikami badań  $Vo_2\max$  wykonanych u tych samych osób innymi metodami, przez innych badaczy: Kozłowskiego i Domanieckiego (Kozłowski, Domaniecki, 1972), Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda (Wolfe, 1978) oraz Saltina, Gagge i Stolwijk (Saltin i in., 1968). Aby takie porównanie mogło być dokonane, autorzy niniejszej pracy, znając ilość pobranego tlenu podczas wysiłku submaksymalnego, częstość pracy serca oraz powierzchnię ciała osób badanych, które zostały wyznaczone przez ww. autorów, własną metodą wyznaczyli  $Vo_2\max$  dla tych samych osób. Taki sposób weryfikacji zapewnia pełen obiektywizm.

## Wyniki

W badaniach Kozłowskiego i Domanieckiego brało udział 10 mężczyzn o dobrej wydolności fizycznej ( $Vo_2\max = 3,4 \pm 0,2$  l/min) i 10 mężczyzn o niskiej wydolności fizycznej ( $Vo_2\max = 2,6 \pm 0,1$  l/min), których dane morfometryczne podano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Dane morfometryczne osób badanych przez Kozłowskiego i Domanieckiego

Liczba osób	Wiek [w latach] średnie	m [kg] średnie	H [m] średnie	A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> ] średnie	Vo <sub>2</sub> max [L/min]
10	20	73,6	1,86	1,91	2,6 ± 0,2
10	21	73,9	1,76	1,90	3,4 ± 0,2

m – masa ciała, H – wzrost, A<sub>D</sub> – powierzchnia ciała, Vo<sub>2</sub>max – maksymalne pochłanianie tlenu.

**Źródło:** Kozłowski, Domaniecki, 1972, s. 761–772.

Badane osoby wykonywały wysiłek o trzech różnych stopniach intensywności wyrażonych w procentach maksymalnego pochłaniania tlenu (średnio): 35, 50, 65% Vo<sub>2</sub>max. Temperatura otoczenia wynosiła około 20°C.

Badania przeprowadzone przez Kozłowskiego i Domanieckiego pozwoliły wyznaczyć między innymi maksymalny pobór tlenu (Vo<sub>2</sub>max). Znając ilość pobranego tlenu (Vo<sub>2</sub>) podczas wysiłków submaksymalnych, częstość skurczów serca w ciągu 1 minuty (HR) oraz powierzchnią ciała (A<sub>D</sub>) osób badanych wyznaczoną przez Kozłowskiego i Domanieckiego, autorzy niniejszej pracy dla tych samych badanych osób wyznaczyli maksymalny pobór tlenu (Vo<sub>2</sub>max) własną metodą. Wyniki dotyczące maksymalnego poboru tlenu wyznaczone przez Kozłowskiego i Domanieckiego oraz przez autorów pracy zostały przedstawione tabeli 2 i na rycinie 1 dla mężczyzn o niskiej wydolności fizycznej, natomiast w tabeli 3 i na rycinie 2 dla mężczyzn o dobrej wydolności fizycznej.

**Tabela 2.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C, wyznaczone przez Kozłowskiego i Domanieckiego, oraz własną metodą przez autorów pracy dla osób o niskiej wydolności fizycznej

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	Vo <sub>2</sub> [L/min] średnie	HR [ $\frac{1}{\text{min}}$ ] średnie	A <sub>D</sub> [m <sup>2</sup> ] średnie	Vo <sub>2</sub> max [L/min]	Vo <sub>2</sub> max* [L/min]	Różnica procentowa
35% Vo <sub>2</sub> max	0,95	112	1,91	2,6 ± 0,1	2,53 ± 0,12	2,69
50% Vo <sub>2</sub> max	1,36	136	1,91	2,6 ± 0,1	2,49 ± 0,12	4,23
65% Vo <sub>2</sub> max	1,76	156	1,91	2,6 ± 0,1	2,56 ± 0,13	1,54

Vo<sub>2</sub> [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

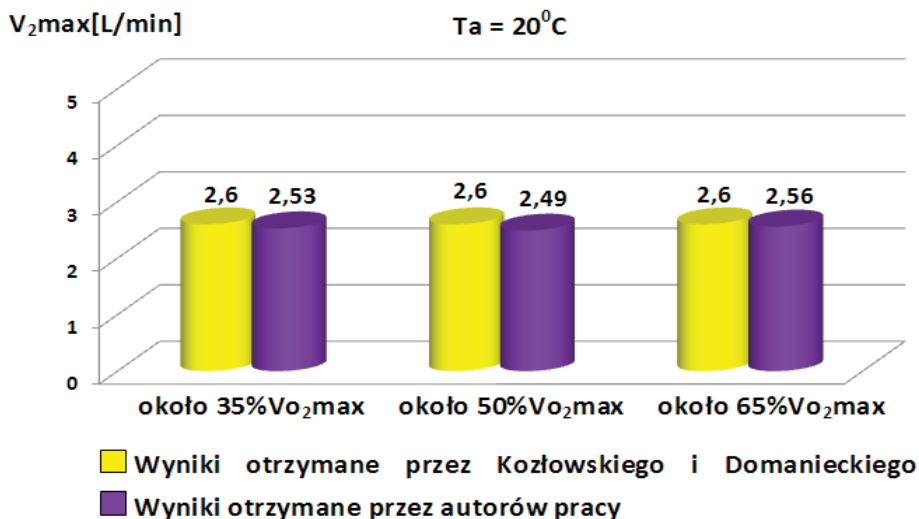
HR [1/min] – częstość skurczów serca,

A<sub>D</sub> [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała,

Vo<sub>2</sub>max [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Kozłowskiego i Domanieckiego,

Vo<sub>2</sub>max\* [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Kozłowski, Domaniecki, 1972, s. 761–772; badania własne.



**Rycina 1.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_{2max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C, u osób o niskiej wydolności fizycznej, wyznaczone własną metodą oraz przez Kozłowskiego i Domanieckiego

**Źródło:** Kozłowski, Domaniecki, 1972, s. 761–772; badania własne.

**Tabela 3.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 20°C wyznaczone przez Kozłowskiego i Domanieckiego oraz własną metodą przez autorów pracy dla osób o dobrej wydolności fizycznej

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$Vo_2$ [L/min] średnie	HR [ $\frac{1}{min}$ ] średnie	$A_D$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$Vo_{2max}$ [L/min]	$Vo_{2max}^*$ [L/min]	Różnica procentowa
35% $Vo_{2max}$	1,23	112	1,90	3,4 ± 0,2	3,28 ± 0,16	3,53
50% $Vo_{2max}$	1,75	136	1,90	3,4 ± 0,2	3,21 ± 0,16	5,59
65% $Vo_{2max}$	2,28	156	1,90	3,4 ± 0,2	3,32 ± 0,17	2,35

$Vo_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_D$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała,

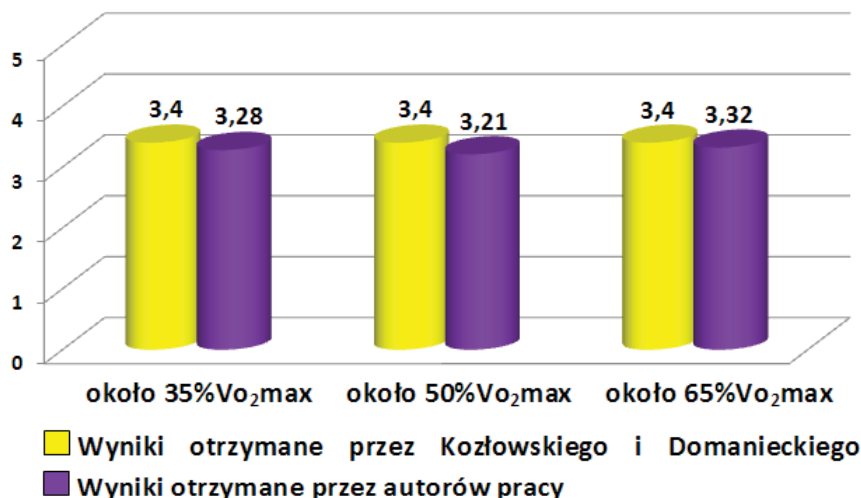
$Vo_{2max}$  [L/min] - maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Kozłowskiego i Domanieckiego,

$Vo_{2max}^*$  [L/min] - maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Kozłowski, Domaniecki, 1972, s. 761–772.

Różnice wyrażone w procentach między maksymalnym poborem tlenu ( $Vo_{2max}$ ) wyznaczonym dwiema metodami, przy różnych stopniach intensywności wysiłku fizycznego, zawarte były w przedziale od 1,54% do 5,59%.

W eksperymentach Wolfe i wsp. brały udział trzy grupy mężczyzn o różnej wydolności fizycznej, w każdej było 10 osób, których dane morfometryczne zostały podane w tabeli 4.

$V_{2max}$  [L/min] $T_a = 20^{\circ}C$ 

**Rycina 2.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_{2max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około  $20^{\circ}C$ , u osób o dobrej wydolności fizycznej, wyznaczone własną metodą oraz przez Kozłowskiego i Domanieckiego

**Źródło:** Kozłowski, Domaniecki, 1972, s. 761–772; badania własne.

**Tabela 4.** Dane morfometryczne osób badanych przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda

Liczba osób	Wiek [w latach] średnie	m [kg] średnie	H [m] średnie	$A_b$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$Vo_{2max}$ [L/min]
10	24,1	82,2	1,80	1,99	3,46 ±0,07
10	22,7	75,3	1,78	1,93	3,97 ±0,15
10	25,1	67,5	1,77	1,82	4,26 ±0,10

m – masa ciała,

H – wzrost,

$A_b$  – powierzchnia ciała,  $Vo_{2max}$  – maksymalne pochłanianie tlenu.

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49.

Osoby biorące udział w badaniach wykonywały wysiłek o trzech różnych stopniach intensywności wyrażonych w procentach maksymalnego pochłaniania tlenu (średnio): 34, 56, 78%  $Vo_{2max}$ . Temperatura otoczenia wynosiła:  $T_a = 21\text{--}25^{\circ}C$ . Wykonane badania pozwoliły wyznaczyć między innymi maksymalny pobór tlenu ( $Vo_{2max}$ ). Znając ilość pobranego tlenu ( $Vo_2$ ) podczas wysiłków submaksymalnych, częstość skurczów serca w ciągu 1 min (HR), przy wszystkich wymienionych stopniach intensywności wysiłku i we wszystkich trzech grupach osób badanych oraz powierzchnię ciała ( $A_b$ ) osób badanych wyznaczone przez Wolfe i wsp., autorzy niniejszej pracy dla wszystkich tych samych badanych osób

wyznaczyli własną metodą maksymalny pobór tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ). Wyniki maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) wyznaczone przez Wolfe i wsp. oraz własną metodą dla pierwszej grupy badanych o najniższej wydolności fizycznej, przy trzech różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, przedstawiono w tabeli 5 i na rycinie 3.

**Tabela 5.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 21–25°C wyznaczone przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda oraz własną metodą przez autorów pracy dla osób o niskiej wydolności fizycznej

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$\text{Vo}_2$ [L/min] średnie	HR [ $\frac{1}{\text{min}}$ ] średnie	$A_D$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$\text{Vo}_2\text{max}$ [L/min]	$\text{Vo}_2\text{max}^*$ [L/min]	Różnica procentowa
34% $\text{Vo}_2\text{max}$	1,16	109	1,99	3,46 ±0,07	3,25 ±0,16	6,07
56% $\text{Vo}_2\text{max}$	1,95	140	1,99	3,46 ±0,07	3,39 ±0,17	2,02
78% $\text{Vo}_2\text{max}$	2,70	166	1,99	3,46 ±0,07	3,55 ±0,18	2,53

$\text{Vo}_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_D$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała,

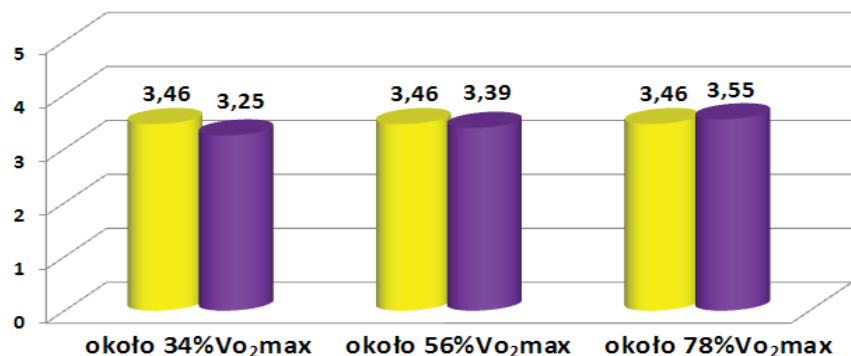
$\text{Vo}_2\text{max}$  [L/min] maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda,

$\text{Vo}_2\text{max}^*$  [L/min] maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49; badania własne.

$\text{V}_2\text{max}$  [L/min]

$T_a = 21\text{--}25^\circ\text{C}$



- Wyniki otrzymane przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda
- Wyniki otrzymane przez autorów pracy

**Rycina 3.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 21–25°C, u osób o niskiej wydolności fizycznej, wyznaczone własną metodą oraz przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49; badania własne.



Maksymalny pobór tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) wyznaczony dwoma metodami dla drugiej grupy badanych o średniej wydolności fizycznej, przy trzech różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, przedstawiono w tabeli 6 i na rycinie 4.

**Tabela 6.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 21–25°C, wyznaczone przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda oraz własną metodą przez autorów pracy dla osób o średniej wydolności fizycznej

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$\text{Vo}_2$ [L/min] średnie	HR [ $\frac{1}{\text{min}}$ ] średnie	$A_D$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$\text{Vo}_2\text{max}$ [L/min]	$\text{Vo}_2\text{max}^*$ [L/min]	Różnica procentowa
35% $\text{Vo}_2\text{max}$	1,39	110	1,93	3,97 ± 0,15	3,84 ± 0,19	3,27
55% $\text{Vo}_2\text{max}$	2,19	136	1,93	3,97 ± 0,15	4,01 ± 0,20	2,99
74% $\text{Vo}_2\text{max}$	2,94	161	1,93	3,97 ± 0,15	4,06 ± 0,20	2,21

$\text{Vo}_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_D$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała,

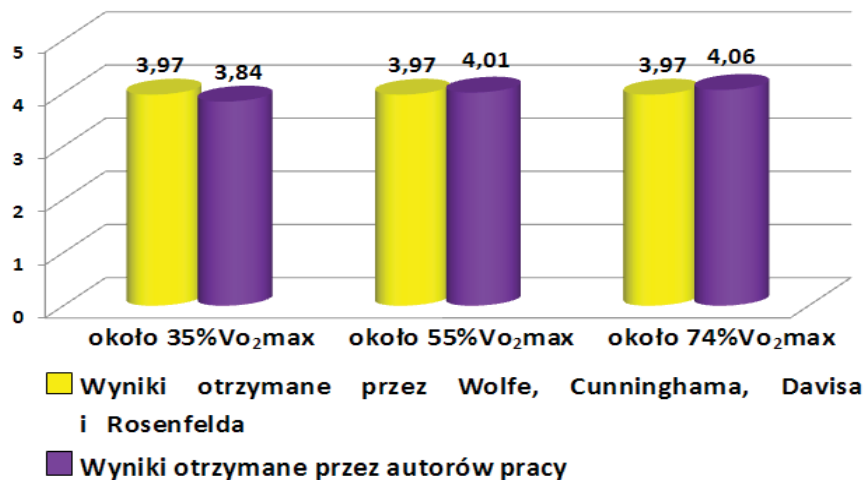
$\text{Vo}_2\text{max}$  [L/min] maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda,

$\text{Vo}_2\text{max}^*$  [L/min] maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49; badania własne.

$\text{V}_2\text{max}$  [L/min]

$T_a = 21-25^0\text{C}$



**Rycina 4.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 21–25°C, u osób o średniej wydolności fizycznej, wyznaczone własną metodą oraz przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49; badania własne.

Natomiast wyniki maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) otrzymane obiema metodami dla trzeciej grupy badanych o największej wydolności fizycznej, przy trzech różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym przedstawiono w tabeli 7 i na rycinie 5.

**Tabela 7.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 21–25°C wyznaczone przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda oraz własną metodą przez autorów pracy dla osób o dużej wydolności fizycznej

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$\text{Vo}_2$ [L/min] średnie	HR $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$ średnie	$A_D$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$\text{Vo}_2\text{max}$ [L/min]	$\text{Vo}_2\text{max}^*$ [L/min]	Różnica procentowa
37% $\text{Vo}_2\text{max}$	1,56	109	1,82	4,26 ± 0,10	4,43 ± 0,22	3,83
59% $\text{Vo}_2\text{max}$	2,50	138	1,82	4,26 ± 0,10	4,47 ± 0,22	4,69
75% $\text{Vo}_2\text{max}$	3,20	161	1,82	4,26 ± 0,10	4,43 ± 0,22	3,83

$\text{Vo}_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_D$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała,

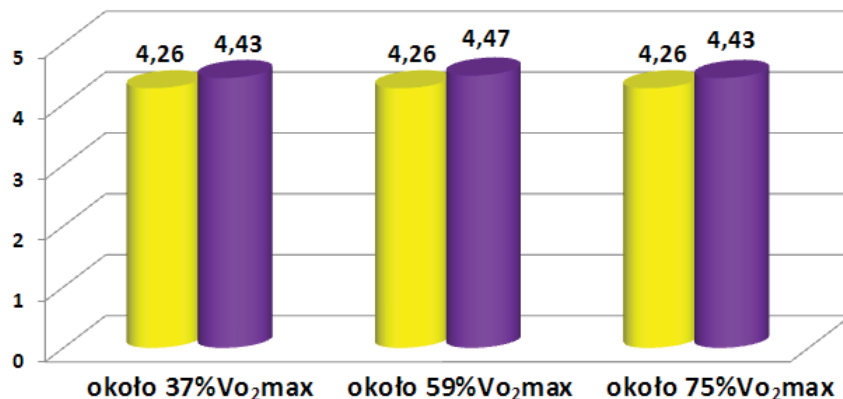
$\text{Vo}_2\text{max}$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda,

$\text{Vo}_2\text{max}^*$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49; badania własne.

$\text{V}_2\text{max}$  [L/min]

$T_a = 21\text{--}25^\circ\text{C}$



■ Wyniki otrzymane przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfelda

■ Wyniki otrzymane przez autorów pracy

**Rycina 5.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 21–25°C, u osób o dużej wydolności fizycznej, wyznaczone własną metodą oraz przez Wolfe, Cunninghama, Davisa i Rosenfeld

**Źródło:** Wolfe i wsp., 1978, s. 44–49; badania własne.

Różnice wyrażone w procentach między maksymalnym poborem tlenu ( $Vo_2\max$ ) wyznaczonym dwiema metodami, przy różnych stopniach intensywności wysiłku fizycznego zawarte były w przedziale od 0,99 do 6,07%.

W eksperymentach Saltina, Gagge i Stolwijka brały udział cztery osoby, których dane morfometryczne zostały podane w tabeli 8.

**Tabela 8.** Dane morfometryczne osób badanych przez Saltina, Gagge i Stolwijka

Liczba osób	Wiek [w latach] średnie	m [kg] średnie	H [m] średnie	$A_b$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$Vo_2\max$ [L/min]
4	24,8	87,9	1,84	2,13	4,40 ±0,23

m – masa ciała,

H – wzrost,

$A_b$  – powierzchnia ciała,

$Vo_2\max$  – maksymalne pochłanianie tlenu.

**Źródło:** Saltin, Gagge, Stolwijk, 1968, s. 679–688.

Osoby biorące udział w badaniach wykonywały wysiłek o trzech różnych stopniach intensywności wyrażony w procentach maksymalnego pochłaniania tlenu (średnio): 27, 46, 72%  $Vo_2\max$  oraz w trzech temperaturach otoczenia ( $T_a$ ): 10°C, 20°C, 30°C.

Przeprowadzone badania pozwoliły wyznaczyć między innymi maksymalny pobór tlenu ( $Vo_2\max$ ). Znając ilość pobranego tlenu ( $Vo_2$ ) podczas wysiłków submaksymalnych oraz częstość skurczów serca (HR), przy wszystkich wymienionych stopniach intensywności wysiłku i we wszystkich trzech temperaturach otoczenia oraz powierzchnię ciała ( $A_b$ ) osób badanych, wyznaczone przez Saltina i wsp., autorzy niniejszej pracy dla czterech tych samych osób wyznaczyli własną metodą maksymalny pobór tlenu  $Vo_2\max$ . Wyniki maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_2\max$ ) wyznaczone przez Saltina ( $Vo_2\max$ ) oraz własną metodą przy trzech różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia  $T_a = 10^\circ\text{C}$ , zostały przedstawione w tabeli 9 i na rycinie 6.

**Tabela 9.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około 10°C, wyznaczone przez Saltina, Gagge i Stolwijka oraz własną metodą przez autorów pracy

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$Vo_2$ [L/min] średnie	HR $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$ średnie	$A_b$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$Vo_2\max$ [L/min]	$Vo_2\max^*$ [L/min]	Różnica procentowa
27% $Vo_2\max$	1,17	94	2,13	4,40 ±0,23	4,58 ±0,23	3,97
46% $Vo_2\max$	2,06	121	2,13	4,40 ±0,23	4,63 ±0,23	4,96
72% $Vo_2\max$	3,17	164	2,13	4,40 ±0,23	4,24 ±0,21	3,63

$Vo_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

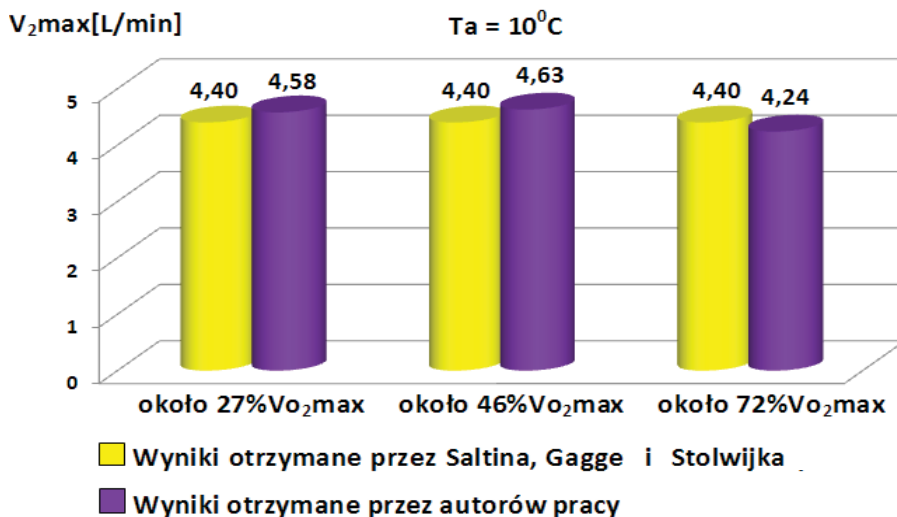
HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_b$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała,

$Vo_2\max$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Saltina, Gagge i Stolwijka,

$Vo_2\max^*$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Saltin, Gagge, Stolwijk, 1968, s. 679–688; badania własne.



**Rycina 6.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $V_{O_2max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia  $10^{\circ}C$ , wyznaczone własną metodą oraz przez Saltina, Gagge i Stolwijk

**Źródło:** Saltin, Gagge, Stolwijk, 1968, s. 679–688; badania własne.

Natomiast wyniki  $V_{O_2max}$  przy trzech różnych stopniach obciążenia wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia  $20^{\circ}C$ , zostały przedstawione w tabeli 10 i na rycinie 7.

**Tabela 10.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około  $20^{\circ}C$  wyznaczone przez Saltina, Gagge i Stolwijk oraz własną metodą przez autorów pracy

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$V_{O_2}$ [L/min] średnie	HR [ $\frac{1}{min}$ ] średnie	$A_D$ [m <sup>2</sup> ] średnie	$V_{O_2max}$ [L/min]	$V_{O_2max}^*$ [L/min]	Różnica procentowa
27% $V_{O_2max}$	1,20	96	2,13	4,37 $\pm$ 0,23	4,45 $\pm$ 0,22	1,79
46% $V_{O_2max}$	2,02	128	2,13	4,37 $\pm$ 0,23	4,09 $\pm$ 0,20	6,40
72% $V_{O_2max}$	3,09	165	2,13	4,37 $\pm$ 0,23	4,10 $\pm$ 0,20	6,17

$V_{O_2}$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych;

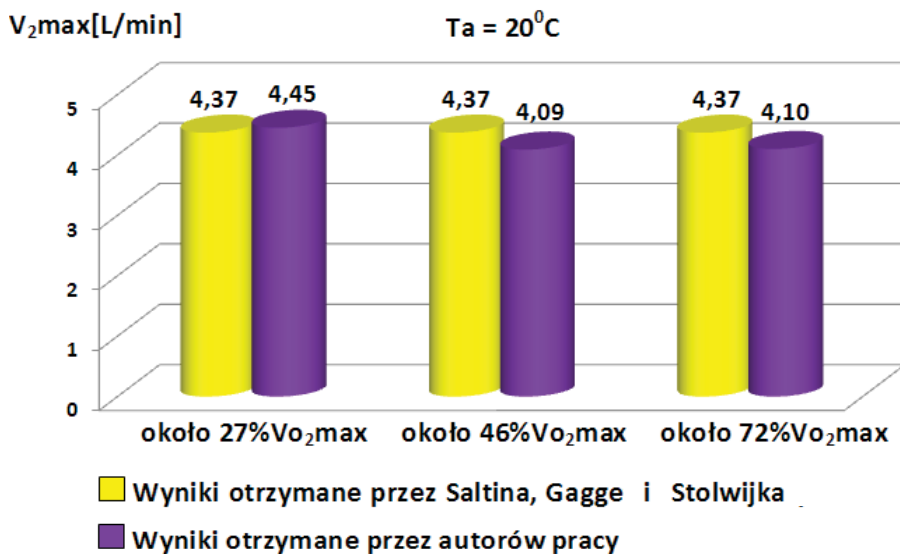
HR [1/min] – częstość skurczów serca;

$A_D$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia ciała;

$V_{O_2max}$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Saltina, Gagge i Stolwijk;

$V_{O_2max}^*$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** B. Saltin, A.P. Gagge, J.A. Stolwijk, 1968, s. 679–688; badania własne.



**Rycina 7.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_{2max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia  $20^{\circ}\text{C}$ , wyznaczone własną metodą oraz przez Saltina, Gagge i Stolwijka

**Źródło:** Saltin, Gagge, Stolwijk, 1968, s. 679–688; badania własne.

Wyniki maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_{2max}$ ) w najwyższej temperaturze otoczenia  $T_a = 30^{\circ}\text{C}$ , przy trzech różnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, przedstawiono w tabeli 11 i na rycinie 8.

**Tabela 11.** Wartości maksymalnego poboru tlenu przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia około  $30^{\circ}\text{C}$  wyznaczone przez Saltina, Gagge i Stolwijka oraz własną metodą przez autorów pracy

Średnie obciążenie wysiłkiem fizycznym około	$Vo_2$ [L/min] średnie	HR $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$ średnie	$A_b$ [ $\text{m}^2$ ] średnie	$Vo_{2max}$ [L/min]	$Vo_{2max}^*$ [L/min]	Różnica procentowa
27% $Vo_{2max}$	1,15	96	2,13	4,36 $\pm$ 0,22	4,27 $\pm$ 0,21	2,06
46% $Vo_{2max}$	2,02	128	2,13	4,36 $\pm$ 0,22	4,09 $\pm$ 0,20	6,19
72% $Vo_{2max}$	3,19	169	2,13	4,36 $\pm$ 0,22	4,08 $\pm$ 0,20	6,42

$Vo_2$  [L/min] – ilość pobranego tlenu podczas wysiłków submaksymalnych,

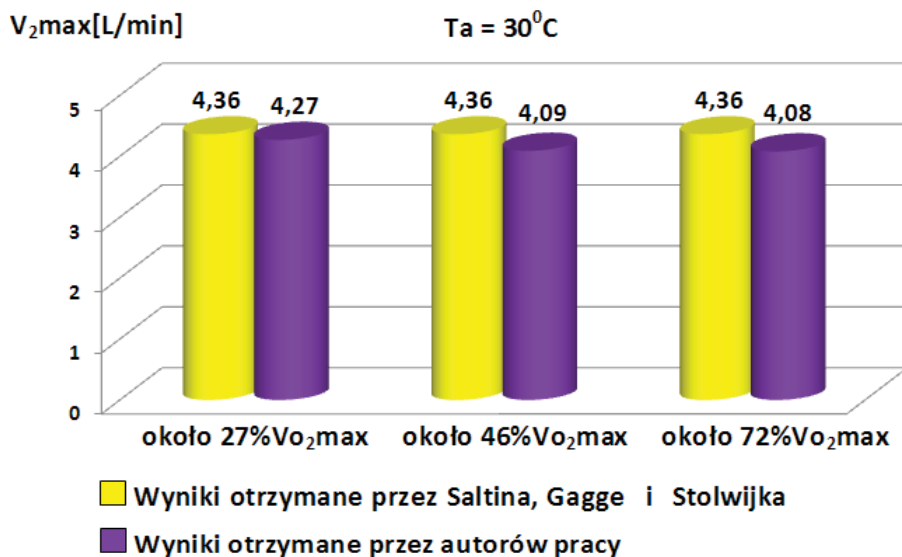
HR [1/min] – częstość skurczów serca,

$A_b$  [ $\text{m}^2$ ] – powierzchnia ciała,

$Vo_{2max}$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony przez Saltina, Gagge i Stolwijka,

$Vo_{2max}^*$  [L/min] – maksymalny pobór tlenu wyznaczony własną metodą.

**Źródło:** Saltin, Gagge, Stolwijk, 1968, s. 679–688; badania własne.



**Rycina 8.** Wartość maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_{2max}$ ) przy różnych względnych obciążeniach wysiłkiem fizycznym, w temperaturze otoczenia  $30^{\circ}C$ , wyznaczone własną metodą oraz przez Saltina, Gagge i Stolwijkia

**Źródło:** Saltin, Gagge, Stolwijk, 1968, s. 679–688; badania własne.

Różnice wyrażone w procentach między maksymalnym poborem tlenu ( $Vo_{2max}$ ) wyznaczonym dwiema metodami, przy różnych stopniach intensywności wysiłku fizycznego i w trzech różnych temperaturach otoczenia, zawarte były w przedziale od 1,79% do 6,42%.

Oznaczając wyniki maksymalnego poboru tlenu literą Y, otrzymane przez Koźłowskiego, Domanieckiego, Wolfe, Cunninghama, Davisa, Rosenfelda, Saltina, Gagge, Stolwijk, oraz literą X wyniki otrzymane własną metodą, przeprowadzono test istotności. Test istotności wykazał, że obie metody wyznaczania maksymalnego poboru tlenu dają wyniki nieróżniące się istotnie, a występujące różnice można wyjaśnić przypadkiem.

Wyznaczono współczynnik korelacji między wartościami Y i X maksymalnego poboru tlenu:  $r = 0,958$ . Przeprowadzono test istotności dla wyznaczonego współczynnika korelacji. Test istotności wykazał, że wartość współczynnika korelacji między wartościami Y i X maksymalnego poboru tlenu jest istotnie większa od wartości 0,93.

Poza tym oszacowano współczynnik korelacji między wartościami Y i X.

Przedział ufności dla oszacowanego współczynnika korelacji wynosi:

$$0,932 < p < 0,984$$

Z tego wynika, że przedział o końcach 0,932 i 0,984 obejmuje szukaną wartość współczynnika korelacji między wartościami Y i X maksymalnego poboru tlenu ( $Vo_{2max}$ ).

## Omówienie

Przedstawione wyżej wyniki oraz przeprowadzony test istotności dla otrzymanych wyników dowodzi, że obie metody wyznaczania maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) dają wyniki nieróżniące się istotnie, a występujące różnice można wyjaśnić przypadkiem.

Przeprowadzony test istotności dla współczynnika korelacji między wynikami maksymalnego poboru tlenu otrzymanymi przez innych autorów (Y), a wynikami otrzymanymi własną metodą (X), wykazał, że współczynnik korelacji między wynikami Y i X wynosi  $r = 0,96$  i jest istotnie większy od wartości 0,93. Z oszacowanego współczynnika korelacji między wartościami Y i X wynika, że przedział o końcach 0,932 i 0,984 obejmuje szukaną wartość tego współczynnika.

Własna metoda pozwala wyznaczyć maksymalny pobór tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) podczas różnych submaksymalnych obciążeń wysiłkiem fizycznym. Stosunek pobranego tlenu ( $\text{Vo}_2$ ) do częstotliwości skurczów serca w ciągu 1 min (HR) pomniejszonej o stałą wartość 70 jest wielkością stałą dla danej osoby ( $\frac{\text{Vo}_2}{\text{HR}-70}$ ) i nie zależy od wartości obciążenia wysiłkiem fizycznym. Iloraz ten decyduje o maksymalnym poborze tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) przez daną osobę. Z tego wynika, że  $\text{Vo}_2\text{max}$  jest odwrotnie proporcjonalny do częstotliwości skurczów serca w ciągu 1 min (HR) podczas wysiłków fizycznych. Oznacza to, że im większa jest wartość  $\text{Vo}_2\text{max}$ , tym mniejszy występuje wzrost częstości skurczów serca w ciągu 1 min w trakcie wysiłku fizycznego (rycina 9). Tak więc w zależności od wydolności fizycznej ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) badani mogą osiągać wyższe lub niższe wartości częstości skurczów serca w ciągu 1 min, pomimo wykonywania pracy o tej samej intensywności (o tym samym bezwzględnym obciążeniu wysiłkiem). Własne badania wskazują na fakt ścisłej zależności pomiędzy układami krążenia i oddychania. Do podobnych wniosków doszli także inni badacze (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazar, 1999, Straburzyńska-Migaj, 2010).

Opracowana własna metoda wyznaczania maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) pozwala w prosty, wiarygodny i bezpieczny sposób wyznaczyć ten ważny parametr fizjologiczny. Dotychczas w literaturze nie opisano podobnej metody. Opracowana własna metoda może być alternatywna do obecnie stosowanych metod wyznaczania maksymalnego poboru tlenu.

Wartość maksymalnego poboru tlenu warunkuje szereg czynników. W warunkach fizjologicznych najistotniejsze są: objętość minutowa serca, stężenie hemoglobiny we krwi, gęstość kapilar w mięśniach, typ włókien mięśniowych, ilość mitochondriów oraz aktywność enzymów oksydacyjnych w mitochondriach (Poole, Richardson, 1997, Howald, 1976, Costill, Wilmore, 1994, Maughan i in., 1997, Zatoń, 1998, Keul i in., 1996, McArdle i in., 1996, Storer i in., 1990, Morton, 1994, Maughan, 1999). Wyniki badań wykazują, że możliwości utylizacji tlenu przez mitochondria znacznie przewyższają zdolność transportu tlenu. Wynika stąd, że transport tlenu, a nie możliwości jego utylizacji w mitochondriach, jest głównym czynnikiem wyznaczającym maksymalny poziom  $\text{Vo}_2\text{max}$ . U człowieka wykonującego wysiłek fizyczny, w który zaangażowane są duże grupy mięśniowe,

pobieranie tlenu limitowane jest przez układ krążenia (Straburzyńska-Migaj, 2010, Åstrand, Ryhming, 1954, Åstrand, 1992, Saltin, Calbet, 2006).

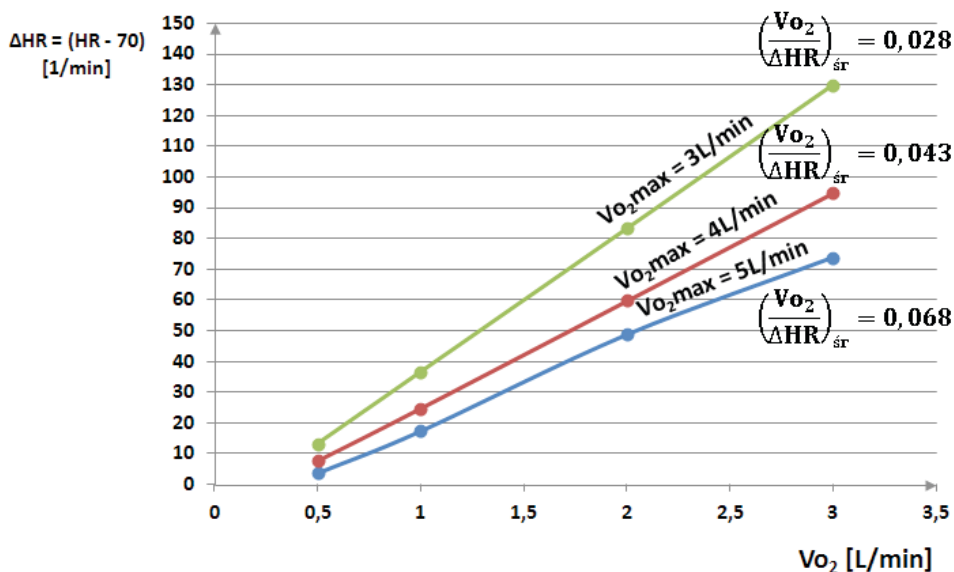
Maksymalny pobór tlenu w dużej mierze jest uwarunkowany genetycznie. Należy zaznaczyć, że nie jest stały i kształtuje się do około 20 roku życia u chłopców i do około 16 roku u dziewcząt. Największa dynamika rozwoju tej cechy występuje w okresie dorastania. Wartość  $\text{Vo}_2\text{max}$  zależy od płci. Chłopcy charakteryzują się większymi wartościami  $\text{Vo}_2\text{max}$  niż dziewczęta. U dorosłych kobiet maksymalny pobór tlenu jest około 30% mniejszy niż u mężczyzn w tym samym wieku. Po okresie gwałtownego przyrostu następuje stabilizacja  $\text{Vo}_2\text{max}$ , która trwa kilka lat. Od około 30 roku życia wartość maksymalnego poboru tlenu systematycznie maleje o około 0,75% rocznie. U osoby 70-letniej pobór tlenu stanowi już tylko 50% wartości z wieku 25–30 lat (Rowland, 2007, Armstrong i in., 1999, Dencker i in., 2006, Dencker i in. 2007, McMurray i in., 1998, Bouchard i in., 1988).

Maksymalne zużycie tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) można zmierzyć w czasie maksymalnego, prowadzącego do całkowitego wyczerpania wysiłku o stopniowo narastającym obciążeniu. Prawdłowo zużycie tlenu rośnie wraz ze wzrostem obciążenia, aż do osiągnięcia plateau. Mimo wzrostu obciążenia i kontynuowania wysiłku, ilość pobranego tlenu nie zmienia się. W warunkach klinicznych badani z reguły kończą wysiłek przed osiągnięciem *plateau* zużycia tlenu z powodu wystąpienia objawów uniemożliwiających kontynuowanie badania, takich jak np. narastająca duszność i zmęczenie. Największą wartość zużytego tlenu określa się wtedy jako tzw. szczytowe zużycie tlenu (peak  $\text{Vo}_2$ ) (Ingle, 2007, Straburzyńska-Migaj, 2010, Arena i in., 2008, Piepoli, 2009).

Warunkiem zachowania dostatecznie wysokiego poziomu wydolności fizycznej jest systematyczna aktywność ruchowa, obejmująca zarówno trening fizyczny, jak i różne zajęcia o programie mniej rygorystycznym niż trening. Efekty obu tych form systematycznej aktywności ruchowej są podobne, różnią się tylko nasileniem zmian morfologicznych, biochemicznych i czynnościowych, wywołanych przez nie w ustroju (Myers, 2008, Åstrand, 1960, Zatoń, 1990, Khort i in., 1991, Wenger, Bell, 1986).

Trening fizyczny powoduje wzrost maksymalnego pochłaniania tlenu o około 15–20% początkowej wielkości, a u ludzi o bardzo niskiej początkowej wydolności sięgający przeszło 30% (Kozłowski, Nazar, 1999, Straburzyńska-Migaj, 2010, Pollock, 1973). Przerost mięśni pobudzanych podczas treningu jest najbardziej znanym jego następstwem (Åstrand, Rohdahl, 1986, Atha, 1981, Mac Dougall, 1986, Fiatarone i in., 1990). Zwiększa się ilość i wytrzymałość mechaniczna oporowych elementów mięśni (tkanka łączna, ścięgna), zachodzą również zmiany w grubości (wzrasta część korowa) i strukturze kości, zwiększające ich wytrzymałość (Mędraś, 2010, Åstrand, 1992, Kiens i in. 1984). Powiększenie przekroju fizjologicznego mięśni zwiększa ich siłę, ogólne zwiększenie masy mięśniowej przyczynia się do wzrostu maksymalnego pochłaniania tlenu przez ustrój. Zmienia się także sposób pobudzania włókien mięśni biorących udział w ruchach na bardziej ekonomiczny przy umiarkowanych wysiłkach i cechujący się pełniejszą synchronizacją ich skurczów przy wysiłkach wymagających rozwinięcia maksymalnej siły. Trening powoduje również zmiany w proporcji poszczególnych





**Rycina 9.** Większym wartościom  $Vo_2 \text{ max}$  odpowiadają większe wartości ilorazu  $\frac{Vo_2}{\Delta HR}$ , co oznacza, że przy tym samym poborze tlenu występuje mniejszy przyrost częstości pracy serca

**Źródło:** Opracowanie własne.

komponentów budowy ciała – większa część całej masy ciała przypada na tkankę mięśniową, a mniejsza na tłuszczową (Åstrand, Rohdahl, 1986, Howald, 1976, Costill, Wilmore, 1994, Maughan i in., 1997, Zatoń, 1990, Costill, 1976, MacDougall i in., 1991, Miller, 1991).

Zachodzą zmiany czynności narządów współdziałających w pobieraniu tlenu z powietrza i transportowaniu go do tkanek. Powiększa się maksymalna dowolna i wysiłkowa wentylacja płuc (Kozłowski, Nazar, 1999, Ekblom, Hermansen, 1968, Swain, Franklin, 2002, Åstrand, Rohdahl, 1986, Costill, Wilmore, 1994, Åstrand, 1960, Saltin i in., 1968).

W związku ze zwiększeniem się objętości krwi w naczyniach krwionośnych płuc (podczas ciężkich wysiłków), proporcjonalnym do wzrostu pojemności minutowej serca, zwiększa się pojemność dyfuzyjna płuc. Korzystniejszy z punktu widzenia wymiany gazowej staje się stosunek wentylacji płuc do przepływu przez nie krwi. Trening powoduje wzrost objętości krwi krążącej do 15–25% i rozkurczowego wypełniania się serca krwią (Górski, 2008, Jaskólski, Jaskólska, 2006, Arena i in., 2008).

Bardzo istotne zmiany – ze względu na wydolność fizyczną – zachodzą w układzie krążenia. Zwiększa się maksymalna pojemność minutowa serca, co powoduje przede wszystkim zwiększenie maksymalnego pochłaniania tlenu przez ustrój. Ponieważ nieco zmniejsza się maksymalna częstość skurczów serca, należy sądzić, że wzrost pojemności minutowej jest wynikiem powiększenia

się objętości wyrzutowej serca. Zwiększa się różnica tętniczo-żylna wysycenia krwi tlenem (wzrasta wykorzystywanie przez mięśnie tlenu z przepływającej przez nie krwi) (Kozłowski, Nazar, 1999, Ekblom, Hermansen, 1968, Åstrand, Rohdahl, 1986, Saltin i in., 1968, Andersen, Hippe, 1996, Bernadet, 1995, Frances, 1996, Rauramma, Leon, 1996).

Ciśnienie krwi w tętnicy płucnej jest często wyższe u ludzi wytrenowanych, co sugeruje większą objętość krwi w płucach. Ma to znaczenie dla utrzymania wysokiej pojemności wyrzutowej serca przy bardzo wysokim rytmie jego skurczów (Kozłowski, Nazar, 1999, Straburzyńska-Migaj, 2010, Åstrand, Rohdahl, 1986, Saltin i in., 1968).

Pod wpływem treningu fizycznego zachodzą zmiany w ultrastrukturze mięśni, między innymi zwiększa się liczba mitochondriów, są one większe itd. (Henriksson, 1992, Blomqvist, Saltin, 1983). Zmiany te, wraz ze zmianami biochemicznymi, mają zwiększać zdolność mięśni do pobierania tlenu z krwi i w ten sposób przyczyniać się do zwiększenia zdolności do pracy w warunkach tlenowych. Beztlenowa komponenta metabolizmu wysiłkowego zaczyna narastać dopiero podczas większych względnych obciążeń wysiłkowych. Człowiek aktywny ruchowo może przez dłuższy czas wykonywać pracę z obciążeniem bliższym „maksimum” niż człowiek o mniejszej aktywności ruchowej (Kozłowski, Nazar, 1999, Åstrand, Rohdahl, 1986, Blomqvist, Saltin, 1983).

Zwiększona aktywność ruchowa wywiera wpływ na odporność. Zwiększa się liczba granulocytów, liczba limfocytów oraz ich działanie, cytotoksyczność, wytwarzanie cytokin i poziom immunoglobulin (Mędraś, 2010; Simon, 1990, Pederesen, Bruunsgaard, 1995, Liesen i in., 1994). Stwierdza się rzadsze występowanie choroby wieńcowej, nadciśnienia oraz obniżenie poziomu cholesterolu we krwi u ludzi aktywnych fizycznie (Andersen, Hippe, 1996, Bernadet, 1995, Frances, 1996, Blair i in. 1989, Morris i in. 1980, Powell i in. 1987). W badaniach arteriograficznych u ludzi po zawale serca stwierdzono zwiększenie krążenia obocznego pod wpływem treningu. Poprawę subiektywną pod wpływem ćwiczeń fizycznych obserwowano w chorobach zarostowych tętnic, poprawę zdolności wysiłkowej w dychawicy oskrzelowej. Stwierdzono wpływ treningu fizycznego na kompensacyjne zwiększenie objętości osocza po utracie krwi (Kozłowski, Nazar, 1999, Åstrand, Rohdahl, 1986).

Codzienna aktywność fizyczna obniża również ryzyko rozwoju cukrzycy, otyłości, zaburzenia tolerancji glukozy, osteoporozy, zmniejsza depresję, poprawia przemiany metaboliczne i hormonalne (Atha, 1981, Fiatarone i in., 1990, Kiens i in., 1984, Miller, 1991, Henriksson, 1992, Frey i in., 1990, Tipton, Vailas, 1990, Nelson i in., 1994, Sutton i in., 1990, Chilibeck i in., 1995, Dalsky i in., 1988).

Stwierdzono, że starzenie się jest nieuchronnie związane z obniżeniem maksymalnej mocy tlenowej i zmniejszeniem siły mięśni, tzn. z pogorszeniem wydolności fizycznej. Istnieją obiecujące dowody, że trening siłowy oraz inne formy wysiłku, stosowane przez ludzi w starszym wieku, pomagają utrzymać samodzielność i zmniejszyć ryzyko zachorowania (Mędraś, 2010, Fiatarone i in., 1990, Tipton, Vailas, 1990, Nelson i in., 1994, Chilibeck i in., 1995, Holloszy i in., 1986, Rowe, Kahn, 1987, Suominen, 1993).

Obecnie istnieje szereg testów i prób wysiłkowych, mających na celu ocenę wydolności fizycznej organizmu człowieka. Trzeba mieć świadomość, że niektóre testy wysiłkowe mogą stwarzać zagrożenie dla zdrowia lub życia, szczególnie u osób mało aktywnych lub chorych (Jaskólski, Jaskólska, 2006, Kozłowski, Nazzar, 1999, Straburzyńska-Migaj, 2010, Franklin, 2000). Toteż w sytuacji niepewności co do stanu zdrowia osoby badanej nigdy nie należy podejmować ryzyka wykonania wysiłku maksymalnego. W takich sytuacjach, aby wyznaczyć wiarygodnie  $\text{Vo}_2\text{max}$  można zastosować nową metodę opracowaną przez autorów niniejszej pracy, która jest dokładna, a co najważniejsze jest bezpieczna i nie zagraża zdrowiu i życiu osoby badanej.

## Wnioski

1. Opracowano własną metodę wyznaczania maksymalnego poboru tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ) w funkcji częstości skurczów serca (HR), ilości pobranego tlenu ( $\text{Vo}_2$ ) podczas dowolnego wysiłku submaksymalnego i powierzchni ciała człowieka ( $A_D$ ).
2. Wyniki maksymalnego poboru tlenu otrzymane własną metodą i metodami standardowymi nie wykazują istotnych różnic statystycznych.
3. Prezentowana własna metoda wyznaczania maksymalnego poboru tlenu jest bezpieczna, nie powoduje zagrożenia zdrowia i życia.
4. Wykazano, że im większy jest maksymalny pobór tlenu ( $\text{Vo}_2\text{max}$ ), tym mniejszy występuje przyrost częstości skurczów serca (HR) podczas wysiłku fizycznego.
5. Opracowana własna metoda wyznaczania  $\text{Vo}_2\text{max}$  może być alternatywna w stosunku do obecnie stosowanych metod wyznaczania tego parametru fizjologicznego.

## Literatura

- Andersen L.B., Hippe M., 1996, *Coronary heart disease risk factors in the physically active, Impact of exercise*, Sports Med., 22, s. 213–218.
- Arena R., Myers J., Guazzi M., 2008, *The clinical importance of cardiopulmonary exercise testing and aerobic training in patients with heart failure*, Rev. Bras. Fisioter., 12, s. 75–87.
- Armstrong N., Welsman J.R., Nevill A.M., Kirby B.J., 1999, *Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11–13 yr olds*, J. Appl. Physiol., 87(6), s. 2230–2236.
- Astrand I., 1960, *Aerobic capacity in men and women with special reference to age*, Acta Physiol. Scand., 49 (Suppl. 169), s. 1–9.
- Åstrand P., Rodahl K., 1986, *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Åstrand P., Ryhming I., 1954, *Nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work*, J. Appl. Physiol., 7, s. 218–221.
- Åstrand P., Saltin B., 1961, *Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity*, J. Appl. Physiol., 16, s. 977.
- Åstrand P., 1992, *Why exercise?*, Med. Sci. Sports Exerc., 24, s. 153–162.

- Atha J., 1981, *Strengthening muscle*, Exerc. Sports Sci. Rev., 9, s. 1–73.
- Bernadet P., 1995, *Benefits of physical activity in the prevention of cardiovascular diseases*, J. Cardiovasc. Pharmacol., 25, s. S3–S8m.
- Blair S.N., Kohl III H.W., 1989, Pfaffenbarger Jr R.S., Clark D.G., Cooper K.H., Gibbons L., *Physical fitness and all-cause mortality*, JAMA, 262, s. 2395–2401.
- Blomqvist G., Saltin B., 1983, *Cardiovascular adaptations to physical training*, Ann. Rev. Physiol., 45, s. 169–189.
- Bouchard C., Boulay M.R., Simoneau J-A., Lortie G., Pérusse L., 1988, *Heredity and trainability of aerobic and anaerobic performances*, Sports Med., 5, s. 69–73.
- Bukowski J., 1976, *Mechanika płynów*, PWN, Warszawa.
- Chilibeck P.D., Sale D.G., Webber C.E., 1995, *Exercise and bone mineral density*, Sports Med., 19, s. 103–122.
- Cink R.E., Thomas T.R., 1981, *Validity of the Astrand-Ryhmig nomogram for predicting maximal oxygen intake*, Brit. J. Sports Med., 15(3), s. 182–185.
- Costill D.L., 1976, *Naukowe podstawy treningu długodystansowca*, Sport Wyczynowy, 11, s. 4–76.
- Costill D.L., Wilmore J.H., 1994, *Physiology of Sport and Exercise*, Human Kinetics, Champaign Ill.
- Dalsky G.P., Stocke K.S., Ehsani A.A., Slatopolsky E., Lee W.C., Brige S.J., 1988, *Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal woman*, Ann. Intern. Med., 108, s. 824–828.
- Dencker M., Thorsson O., Karlsson M.K., Linden C., Svenson J., Wollmer P., Andersen L.B., 2006, *Daily physical activity and its relation to aerobic fitness in children aged 8–11 years*, Eur. J. Appl. Physiol., 96(5), s. 587–592.
- Dencker M., Thorsson O., Karlsson M.K., Linden C., Eiberg S., Wollmer P., Andersen L.B., 2007, *Gender differences and determinants of aerobic fitness in children aged 8–11 years*, Eur. J. Appl. Physiol., 99(1), s. 19–26.
- Ekblom B., Hermansen L., 1968, *Cardiac output in athletes*, J. Appl. Physiol., 25, s. 619–625.
- Fiatrone M.A., Marks E.C., Ryan N.D., Meredith C.N., Lipitz L.A., Evans W.J., 1990, *High-intensity strength training in nonagenarians*, JAMA, 263, s. 3029–3032.
- Foss M.L., Keteyian S.J., 1998, *Fox's Physiology Basis for Exercise and Sport*, WCB/Mc Graw-Hill, Boston.
- Fox E.L., 1973, *A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power*, J. Appl. Physiol., 35, s. 914–916.
- Frances K., 1996, *Physical acidity in the prevention of cardiovascular disease*, Physical Therapy, 76, s. 456–468.
- Franklin B.A., 2000, *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*, Lippincott Williams & Wilkins, s. 3–27, 57–85.
- Frey I., Bery A., Baumstark M.W., Collatz K-G., Keul J., 1990, *Effects of age and physical performance capacity on distribution and composition of high-density lipoprotein subfractions in men*, Eur. J. Appl. Physiol., 60, s. 441–444.
- Górski J., 2008, *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*, PZWL, Warszawa.
- Henriksson J., 1992, *Cellular metabolism and endurance*, (w:) R.J. Shephard, P. Astarand (eds.), *Endurance in Sport*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, s. 46–60.
- Hobler T., 1979, *Ruch ciepła i wymienniki*, WNT, Warszawa.
- Holloszy J.O., Schultz J., Kusnierkiewicz J., Hagberg J.M., Ehsani A.A., 1986, *Effects of exercise on glucose tolerance and insulin resistance*, Acta Med. Scand., Suppl. 711, s. 55–65.
- Howald H., 1976, *Wpływ ćwiczeń fizycznych na metabolizm mięśni*, Sport Wyczynowy, 11, s. 15–20.
- Ingle L., 2008, *Prognostic value and diagnostic potential of cardiopulmonary exercise testing in patients with chronic heart failure*, Eur. J. Heart Failure, 10, s. 112–118.
- Ingle L., 2007, *Theoretical rationale and practical recommendations for cardiopulmonary exercise testing in patients with chronic heart failure*, Heart Fail. Rev., 12, s. 12–22.
- Jackson A.S., Blair S.N., Mahar M.T., Wier L.T., Ross R.M., Stuteville J.E., 1990, *Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing*, Medicine and Science in Sports and Exercise, 22, s. 863–870.
- Jaskólski A., Jaskólska A., 2006, *Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego*, AWF, Wrocław.

- Keul J., Konig D., Halle M., Wohlfahrt B., Berg A., 1996, *Adaptation to training and performance in elite athletes*, Research Quarterly for Exercise and Sport, 3, Suppl., s. 29–36.
- Khorth W.M., Malley M.T., Coggan A.R. et al., 1991, *Effects of gender, age, and fitness level on response of  $\dot{V}_{O_2\max}$  to training in 60–71 yr olds*, J. Appl. Physiol., 71, s. 2004–2011.
- Kiens B., Lithell P.L., Vessby B., 1984, *Further increase in high density lipoprotein in trained males after endurance training*, Eur. J. Appl. Physiol., 52, s. 426–430.
- Kozłowski S., Domaniecki J., 1972, *Termoregulacja podczas wysiłków fizycznych u ludzi o różnej wydolności fizycznej*, Acta Physiol. Pol., 23, s. 761–772.
- Kozłowski S., Nazar K., 1999, *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, PZWL, Warszawa.
- Landau L., Lifszic E., 1958, *Mechanika ośrodków ciągłych*, PWN, Warszawa.
- Legge B.J., Banister E.W., 1986, *The Astrand-Rhyming nomogram revisited*, J. Appl. Physiol., 61, s. 1203–1209.
- Liesen H., Weiss M., Baum M. (eds.), 1994, *Metabolic interactions, nutritional aspects, and the immune system*, Int. J. Sports Med., 15, s. 115–186.
- Maughan R.J., 1999, *Basic and Applied Sciences for Sports Medicine*, Butterworth Heinemann, Oxford, Auckland, Boston.
- Maughan R.J., Gleeson M., Greenhaff P.L., 1997, *Biochemistry of Exercise & Training*, Oxford University Press, Oxford.
- MacDougall J.D., 1986, *Adaptability of muscle strength training-a cellular approach*, (w:) B. Saltin (ed.), *Biochemistry of Exercise VI*, Human Kinetics Books, Champaign, IL., s. 501–513.
- MacDougall J.D., Werner H.A., Green H.J., 1991, *Physiological testing of the high performance athlete*, Human Kinetics Books, Champaign, IL.
- McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L., 1996, *Essentials of Exercise Physiology*, Lippincott Williams & Wilkins.
- McMurray R.G., Guion W.K., Ainsworth B.E., Harrell J.S., 1998, *Predicting aerobic power in children. A comparison of two methods*, The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 38(3), s. 227–233.
- Mędraś M., 2010, *Endokrynologia wysiłku fizycznego sportowców*, MedPharm Polska, Wrocław.
- Miller W.C. (Chairman), 1991, *Clinical symposium: obesity: diet composition, energy expenditure, and treatment of the obese patient*, Med. Sci. Sports Exerc., 23, s. 273–297.
- Morris J.N., Everitt M.G., Pollard R., Chave S.P.W., Semmence A.M., 1980, *Vigorous exercise in leisure time: protection against coronary heart disease*, Lancet, 2, s. 1207–1210.
- Morton R.H., 1994, *Critical power test for ramp exercise*, European Journal of Physiology, Occupational Physiology, 69(5), s. 435–438.
- Myers J., 2008, *Principles of exercise prescription for patients with chronic heart failure*, Heart Fail Rev., 13, s. 61–68.
- Nelson M.E., Fiatarone M.A., Morganti C.M., Trice I., Greenberg R.A., Evans W.J., 1994, *Effects of high-intensity strength training on multiple risk factors for osteoporotic fractures. A randomized controlled trial*, JAMA, 272, s. 1909–1914.
- Pedersen B.K., Bruunsgaard H., 1995, *How physical exercise influences the establishment of infections*, Sports Med., 19, s. 393–400.
- Piepoli M., 2009, *Exercise tolerance measurements in pulmonary vascular diseases and chronic heart failure*, Respiration, 77, s. 241–251.
- Pollock M.L., 1973, *The quantification of endurance training program*, Exercise and Sports Sci. Rev., 1, s. 155–188.
- Poole D.C., Richardson R.S., 1997, *Determinants of oxygen uptake - implications for exercise testing*, Sports Med., 24(5), s. 308–320.
- Powell K.E., Thomson P.D., Caspersen C.J. and Kendrick J.S., 1987, *Physical activity and the incidence of coronary heart disease*, Ann. Rev. Public Health., 8, s. 253–287.
- Pyne D., Goldsmith W., Maw G., 2000, *Physiological Test for Elite Athletes (Australian Sports Commission)* Ed. C. Gore, s. 372–382.
- Rauramma R., Leon A.S., 1996, *Physical activity and risk of cardiovascular disease in middle-aged individuals*, Sports Med., 22, s. 65–69.
- Rowe J.W., Kahn R.L., 1987, *Human aging: usual and successful*, Science, 237, s. 143–149.

- Rowland T.W., 2007, *Evolution of maximal oxygen uptake in children*, Medicine and Sport Science, 50, s. 200–209.
- Saltin B., Blomqvist B., Mitchell J.H., Johnsson R., Wildenthal K., Chapman C.B., 1968, *Response to submaximal and maximal exercise after bedrest and training*, Circulation Res., 38, Suppl. 5.
- Saltin B., Calbet J.A., 2006, *Point: in health and normoxic environment  $\dot{V}O_{2max}$  is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow*, J. Appl. Physiol., 100, s. 744–745.
- Saltin B., Gagge A.P., Stolwijk J.A., 1968, *Muscle temperature during submaximal exercise in man*, J. Appl. Physiol., 25(6), s. 679–688.
- Simon H.B., 1990, *Discussion: exercise, immunity, cancer, and infection*, (w:) C. Bouchard, R.J. Shephard, T.S. Stephens, J.R. Sutton, B.D. McPherson (eds.), *Exercise, Fitness, and Health*, Human Kinetics Books, Champaign, IL., s. 581–588.
- Staniszewski B., 1980, *Wymiana ciepła*, PWN, Warszawa.
- Storer T.W., Davis J.A., Caiozzo V.J., 1990, *Accurate prediction of  $\dot{V}O_{2max}$  in cycle ergometry*, Medicine & Science in Sports & Exercise, 22(5), s. 704–712.
- Straburzyńska-Migaj E., 2010, *Testy spirometryczne w praktyce klinicznej*, PZWL, Warszawa.
- Suominen H., 1993, *Bone mineral density and long term exercise*, Sports Med., 16, s. 316–330.
- Sutton J.R., Farrell P.A., Harber V.J., 1990, *Hormonal adaptation to physical activity*, (w:) C. Bouchard, R.J. Shephard, T.S. Stephens, J.R. Sutton, B.D. McPherson (eds.), *Exercise, Fitness, and Health*, Human Kinetics Books, Champaign, IL., s. 217–257.
- Swain D.P., Franklin B.A., 2002,  *$\dot{V}O_2$  reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness*, Med. Sci. Sports Exerc., 34, s. 152–157.
- Szubert J., 1980, *Biofizyczne aspekty termoregulacji w organizmie człowieka*, WAM, Łódź.
- Szubert J., 1981, *Modelowanie i symulacja komputerowa jako metody badań we współczesnej biologii i medycynie*, Pol. Tyg. Lek., 36(25), s. 943–946.
- Tipton C.M., Vailas A.C., 1990, *Bone and connective tissue adaptations to physical activity*, (w:) C. Bouchard, R.J. Shephard, T.S. Stephens, J.R. Sutton, B.D. McPherson (eds.), *Exercise, Fitness, and Health*, Human Kinetics Books, Champaign, IL., s. 331–361.
- Wenger H.A., Bell G.J., T., 1986, *The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness*, Sports Med., 3, s. 346–356.
- Wilmore J.H., Castill D.L., 1999, *Physiology of sport and exercise*, Human Kinetics, Champaign, IL.
- Wolfe L.A., Cunningham D.M., Davis G.M., Rosenfeld H., 1978, *Relationship between maximal oxygen uptake and left ventricular function in exercise*, J. Appl. Physiol., 44, s. 44–49.
- Zatoń M., Jastrzębska A. (red.), 2010, *Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej*, PWN, Warszawa.
- Zatoń M., 1990, *Wartości kryteriów fizjologicznych w kontroli i regulacji treningu sportowego*, Studia i Monografie, nr 22, Wydawnictwo AWF we Wrocławiu, Wrocław.
- Zatoń M., 1998, *Wokół dyskusji o obciążeniach wysiłkowych*, Sport Wyczynowy, 2, s. 17–24.